

# Llamado a Postulación

## Magíster en Ciencias de la Ingeniería

### *Procesamiento de Imágenes Biomédicas para Mapas de Propiedades Electromagnéticas con MRI*

*Pontificia Universidad Católica de Chile — Escuela de Ingeniería*

**Contacto: Prof. Carlos Milovic (cmilovic@uc.cl)**

#### Sobre el programa

El Magíster en Ciencias de la Ingeniería (MCI) de Ingeniería UC es un programa de orientación a la investigación, presencial y de dedicación diurna. Su objetivo es iniciar la formación en investigación en ciencias y tecnologías, preparando a sus graduados para resolver problemas de relevancia, desarrollarse en la industria, continuar con un doctorado o emprender en ciencia y tecnología.

#### Contexto y líneas de trabajo

Buscamos estudiantes interesados en desarrollar metodologías de adquisición, reconstrucción y análisis de imágenes de resonancia magnética (MRI) orientadas a la estimación de propiedades electromagnéticas de los tejidos (p. ej., susceptibilidad magnética) y su relación con modelos físicos subyacentes. El foco está en métodos para mejorar la robustez de técnicas cuantitativas (en particular QSM) junto con representaciones multiescala y técnicas modernas de optimización y aprendizaje profundo. En QSM se estiman mapas de susceptibilidad magnética,  $\chi$ , a partir de imágenes 3D que describen el campo magnético punto a punto. Esto implica resolver un problema inverso mal condicionado. Las nuevas metodologías a desarrollar se enfocarán tanto en el marco tradicional de algoritmos iterativos como en nuevos algoritmos de aprendizaje profundo informados por la física.

Estos proyectos de investigación se realizarán en el Centro de Imágenes Biomédicas UC (CIB). El CIB es un centro de investigación multidisciplinario de la Pontificia Universidad Católica de Chile con más 25 años de experiencia en área de investigación y desarrollo de técnicas de adquisición, reconstrucción y análisis de imágenes biomédica. Contamos además con sólidas redes de colaboración en Estados Unidos y Europa, con oportunidades para realizar pasantías de investigación y posibles dobles grados.

Los proyectos descritos a continuación son tentativos, y están sujetos a cambio en conjunto con el postulante.

## Proyectos de tesis de Magíster ofrecidos

### 1. Redes informadas por la física para QSM de orientación única y modelo extendido de señal

Diseñar redes que impongan coherencia con el núcleo dipolar magnético (modelo tradicional) e incorporen componentes no dipolares (p. ej., cuadripolos y campos armónicos). Objetivos: separar la susceptibilidad  $\chi$  de componentes cuadrupolares que modelen microestructura y armónicas que modelan contribuciones de campos de fondo, para reducir artefactos y conservar detalles finos.

### 2. Eliminación de campo de fondo sin máscara

Los campos de fondo se modelan típicamente como campos escalares armónicos. Para desacoplarlos de los campos de magnetización locales se explotan las propiedades matemáticas de los campos armónicos. Una de las dificultades es que hay que definir una región de interés, y en su interior usar estas propiedades matemáticas. El problema ocurre en la interfaz, donde se suelen violar esas propiedades, o el ruido impide modelar la señal. En este proyecto se plantean dos vías complementarias para resolver el problema: (i) algoritmo binario con imágenes de magnitud y fase para identificar aire/tejidos, estimar campos de fondo y suprimir streaking en la frontera; (ii) red neuronal para eliminar el campo armónico sin máscara, con posibilidad de integrar la inversión del dipolo en un solo paso.

### 3. Red neuronal de reducción de ruido basada en TDV altamente optimizada para QSM

En vez de desarrollar una red que aprenda directamente el operador inverso, se puede encontrar un modelo que simplemente ayude a estabilizar el problema. Una alternativa es usar una red variacional, que se inserta directamente en un esquema iterativo, o redes proximales que hacen un paso de reducción de ruido o artefactos. En este proyecto se busca desarrollar una red variacional 3D basada en Variación Total Profunda (TDV), incorporando el modelo de convolución por el dipolo magnético en un esquema iterativo desenrollado (descenso de gradiente u otros) o mediante un Plug-and-Play vía ADMM. Se busca lograr eficiencia computacional comparable al estado del arte con métodos clásicos iterativos.

### 4. Aplicación starlet–shearlet o dipolelets multiescala para QSM de altos detalles

Se propone utilizar una nueva representación multiescala, que identifica componentes en fase (campos magnéticos) y susceptibilidad según el tamaño y orientación de las estructuras. Se propone integrar starlets radiales (para control de ruido de alta frecuencia) con ralezas direccionales tipo shearlet en un funcional resuelto con ADMM, para priorizar preservación de venas y detalles anisotrópicos. Alternativamente, usar la nueva representación llamada “dipole-lets” en solvers ADMM o U-Nets para suprimir streaking/ruido. Se propone extender este marco a Variación Total multiespectral como complemento.

## 5. Redes Kolmogorov-Arnold (KAN) y Transformers para QSM

Nuevas arquitecturas de aprendizaje profundo prometen una mejor generalización de los datos y mejor interpolación. Se propone implementar bloques KAN o Transformer con pérdida física basada en el modelo del dipolo para mejorar la generalización y reducir alucinaciones respecto de U-Nets.

## 6. Dataset físico-realista para DeepLearning-QSM

Para entrenar modelos de aprendizaje profundo se necesitan muchos datos. Afortunadamente, el modelo involucrado en QSM se conoce bien, y se sabe que se puede entrenar con datos sintéticos. Se quiere generar un repositorio (~1 TB) con pares susceptibilidad/fase altamente optimizado que incluyan susceptibilidad escalar y tensorial, términos dipolares (Cho), ruido realista y campos de fondo. Este proyecto facilitará el entrenamiento de varias otras líneas de investigación.

## 7. Optimización bayesiana de parámetros de regularización en modelos L1-QSM y Weak-Harmonics

Un problema de los métodos iterativos tradicionales es que son lentos. Y a menudo se necesitan ajustar uno o múltiples parámetros. Ajustar esos parámetros para imágenes reales, in vivo, puede ser un proceso muy complejo. Técnicas basadas en optimización bayesiana o multi-nivel buscan integrar un proceso automático para ajustar pesos de regularización (TV) y consistencia de datos (proximal L1) según el SNR estimado de forma automática.

## 8. Segmentación automática de componentes no dipolares con Dipole-lets

Los dipole-lets son una nueva representación multiescala que explota el modelo físico del dipolo magnético para identificar tamaños y direcciones preferenciales de las estructuras y de los artefactos de reconstrucción. Al usar esta representación multiescala para identificar fuentes de streaking en la fase y se busca alimentar un solver iterativo o informar redes neuronales para aumentar la robustez de estos métodos.

## 9. DECOMPOSE-ADMM para QSM

La susceptibilidad magnética nos da un contraste entre materiales paramagnéticos (positivos) y diamagnéticos (negativos). El problema aparece cuando tenemos una mezcla de materiales en el mismo voxel, como el caso de mielina y depósitos de hierro. Para poder separar ambas contribuciones se necesita resolver un nuevo problema, donde el modelo involucra múltiples adquisiciones o múltiples ecos. Un método novedoso es DECOMPOSE, que separa los componentes asumiendo que la señal compleja adquirida se descompone en tres señales independientes, del agua, paramagnetismo y diamagnetismo. El problema de este algoritmo es que es computacionalmente muy caro. Se propone reformular DECOMPOSE en dos bloques ADMM con proximales cerrados para acelerar la solución del funcional sin pérdida de precisión, y permitir aceleración por GPU.

## 10. Inversión conjunta multi-eco $R2^*$ -QSM

La señal adquirida en el resonador magnético es compleja; tiene magnitud y fase. Mientras la fase evoluciona más o menos linealmente, la magnitud decae de forma (mono)exponencial. Un modelo conjunto que calcula la tasa de decaimiento exponencial de magnitud  $R2^*$  y la susceptibilidad a partir de la fase en un solo funcional o red multitarea con priors compartidos permite tener un modelo mucho más robusto ante el ruido. Meta: robustez con pocos ecos y mejor precisión en  $\chi$  ante efectos de micro-estructura.

## 11. Incertidumbre y calibración para QSM

Una línea prometedora de investigación es la estimación de incertidumbre en las reconstrucciones de imágenes a partir de la sensibilidad de los métodos al ruido y sus propios parámetros. Se busca implementar la estimación de incertidumbre voxel-a-voxel (ensembles / MC-Dropout / conformal prediction) para solvers iterativos o Deep Learning. Entregar mapas de error confiables y calibrados que permitan un análisis más profundo de los resultados.

### Perfil del/la postulante

- Licenciatura en Ciencias de la Ingeniería, Ingeniería Civil u otra disciplina afín (Física, Eléctrica, Biomédica, Computación).
- Formación básica en procesamiento de señales/imágenes, optimización y/o aprendizaje de máquina.
- Manejo de al menos un lenguaje científico (Matlab, Python, C/C++ o Julia).
- Motivación por investigación rigurosa, reproducible y validación con fantasmas/simulaciones.

### Enfoque y dedicación

- Orientación: Investigación. Modalidad: Presencial. Horario: Diurno.

### Postulación y consultas

- Dos períodos de postulación al año: típicamente agosto–octubre (ingreso en marzo) y marzo–mayo (ingreso en agosto).
- Escribe a [cmilovic@uc.cl](mailto:cmilovic@uc.cl) indicando “Postulación Magister – Propiedades EM con MRI”, antes de postular.
- Adjunta CV, certificado de notas y una breve carta de intención (máx. 1 página).
- Opcional: enlaces a repositorios de código/publicaciones y cartas de dos referencias académicas.

Nota: Revisa los requisitos, documentación y fechas oficiales actualizadas en el sitio de Ingeniería UC.